

電気学会 第80回電気技術史研究会

2019. 10. 4

電気学会顕彰「でんきの礎」および電気技術史一般

HEE-19-033

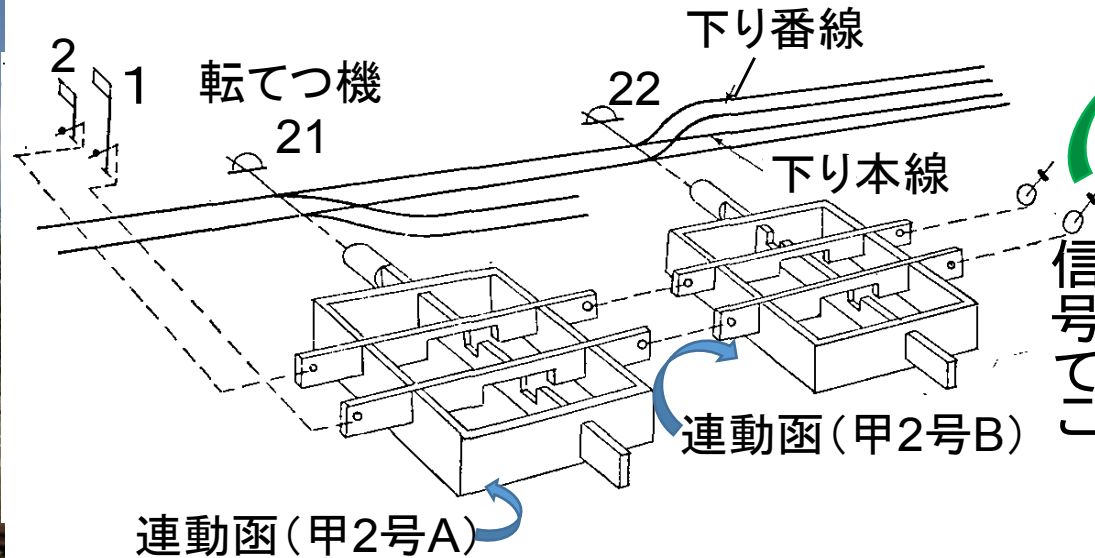
鉄道信号用連動装置SMILEの 開発と今日の列車制御

日本大学 名誉教授 中村 英夫

発表内容

- はじめに
- SMILE以前の信号保安装置とフェールセーフ
 - 機械式信号システム時代の技術
 - 継電器利用時代の技術
- SMILE用フェールセーフ計算機の開発
 - フォールトトレランス技術
 - その他のフェールセーフ計算機
 - SMILE用フェールセーフ計算機
- 駅構内の自動制御機能を備えたSMILE実用機
 - 電子連動装置SMILEの構成
 - 電子連動装置SMILEの意義
- IoT時代を迎えた今日の列車制御
 - CBTCの登場とATACS
 - IoT時代の列車制御システムUTCS
- おわりに

機械式信号システム時代の技術

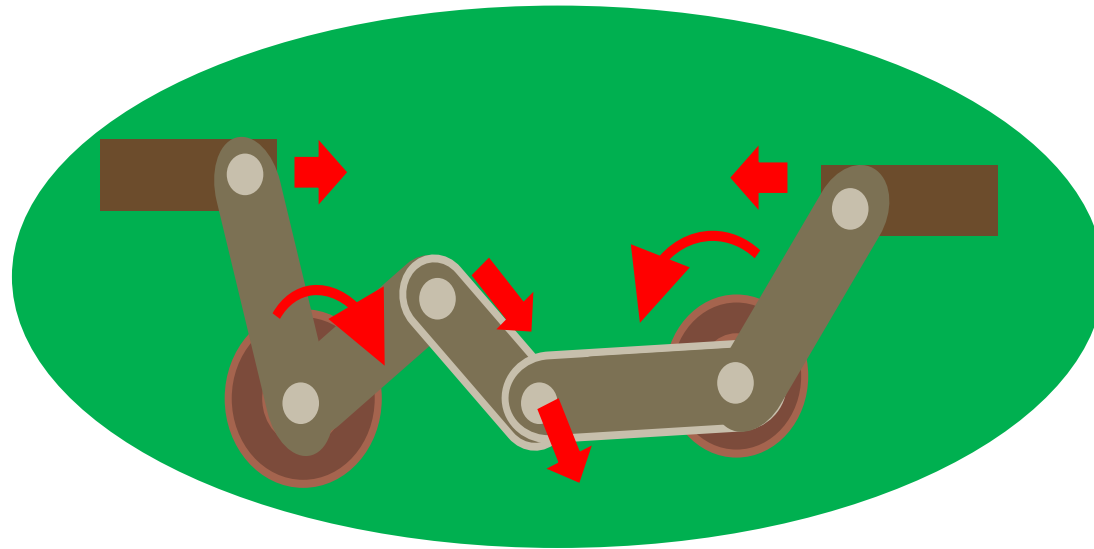


てこを倒す/戻すして腕木式信号機を操作



機械式信号システム時代の技術（環境条件の克服）

- 熱変動による駆動機構の伸縮 → 誤動作の原因



Pipe Compensator

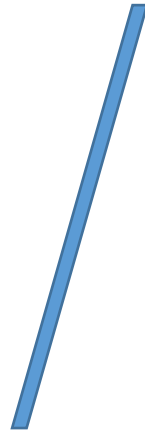
電気・ 継電器利用時代に



腕木式信号機



色灯式信号機



機械式転てつ機



電気転てつ機

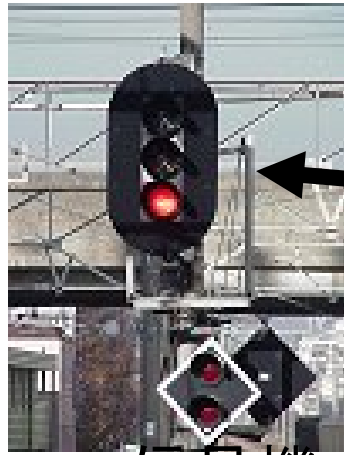


軌道回路 (列車センサー)



信号用リレー

継電連動装置の出現



信号機



継電連動装置



信号扱所



転てつ機
(線路の切換機)

駅構内の連動装置が、他の列車位置を確認しながら転てつ機を用いて列車進路を構成



軌道回路
(列車センサ)

継電器利用時代の技術

- リレーによる接点論理で状態を検証
- 場所を選ばない
- 複雑な論理が容易に実現可能

- 装置故障に対しても安全を確保

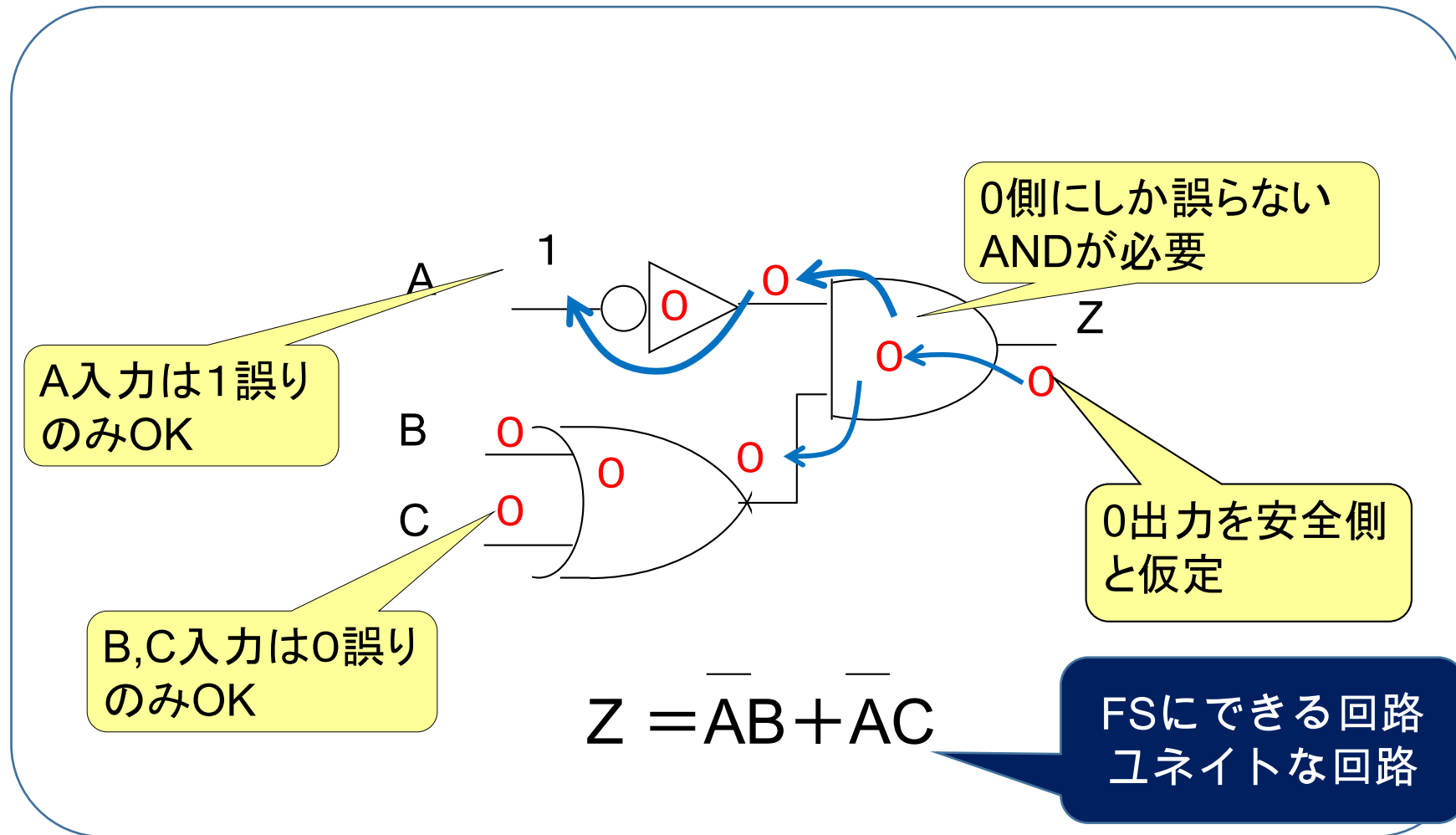
- フェールセーフな回路



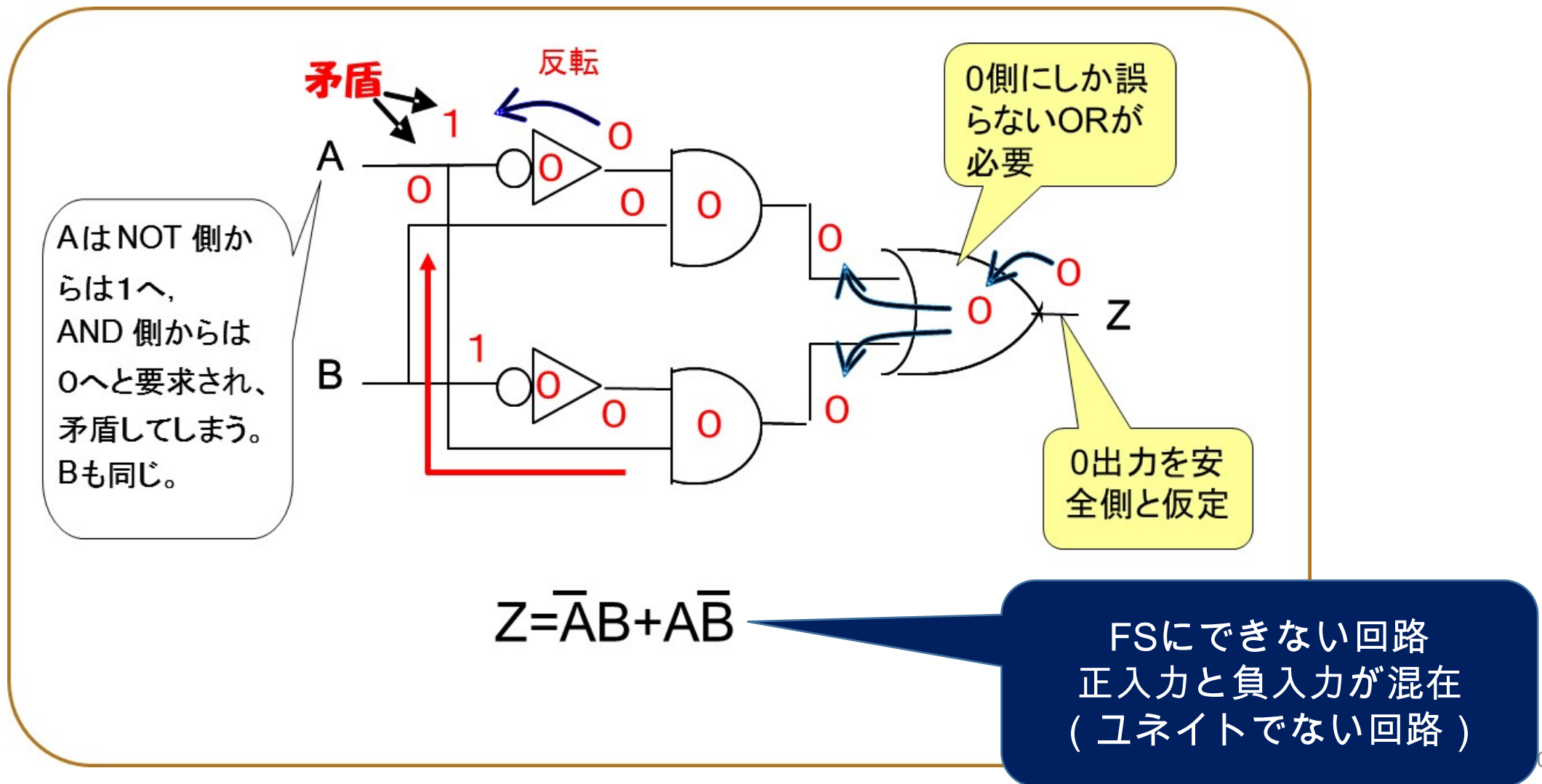
明かされるフェールセーフな論理回路

- 非対称誤り論理素子(信号用リレーなど)を使えば、フェールセーフな論理回路が構成できるのか？

明かされるフェールセーフな論理回路



明かされるフェールセーフな論理回路



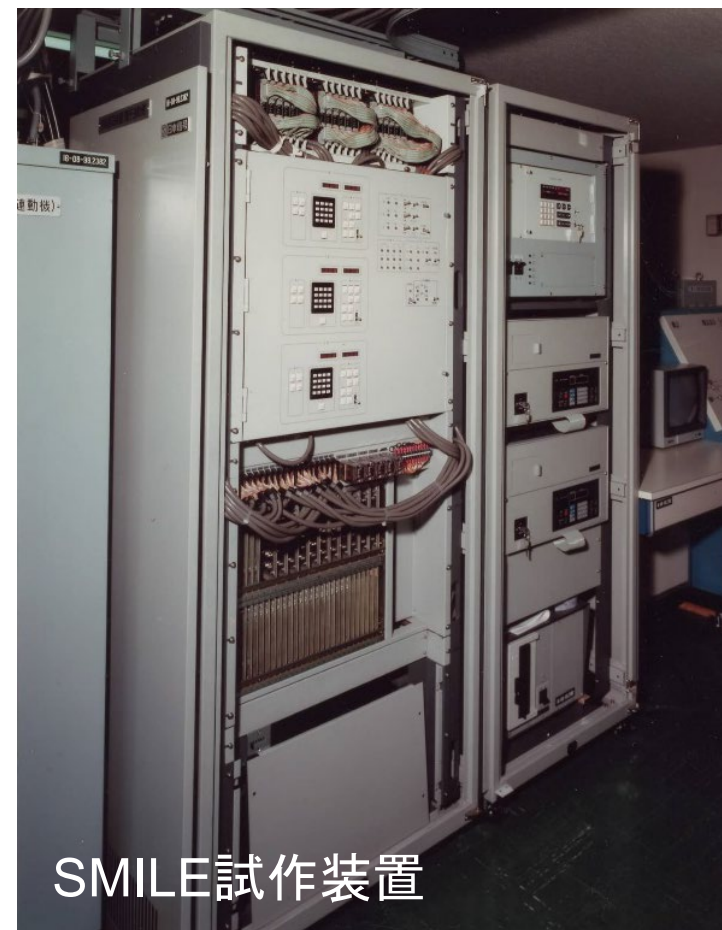
明かされるフェールセーフな論理回路

- 非対称誤り論理素子(信号用リレーなど)を使えば、フェールセーフな論理回路が構成できるのか？
- 回路がユネイト(Unate)なら、非対称誤り論理素子を用いて高々一重系でフェールセーフな論理が回路構成できる。」
- 広がる研究
 - Unateでない回路をフェールセーフにするには？
 - 対称誤り論理素子でフェールセーフにするには？
 - 非対称誤り論理素子を実現しよう
 - …
- パラメトロンを用いた非対称誤り論理二重系構成による「フェイルセーフ計算機」を開発

フェールセーフ計算機への置換



計算機化



フェールセーフではないCPUをどうやって
フェールセーフに

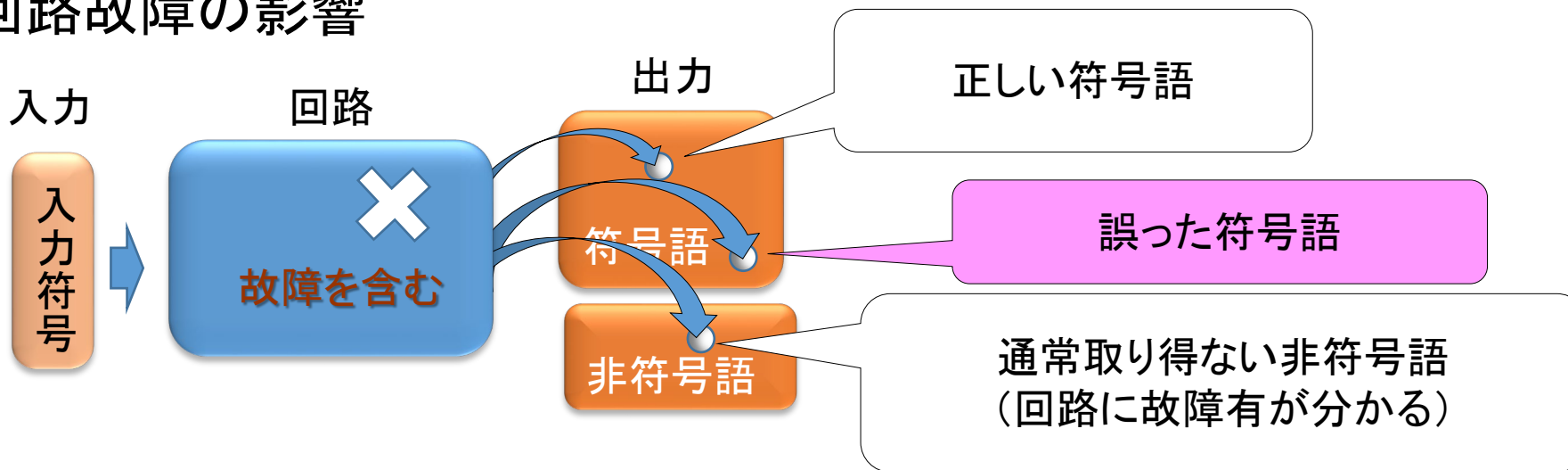
万人が納得できる方法論の確立を

システム的高信頼化技術 FAULT TOLERANCE (FT)

- 故障時の影響が無視できない航空宇宙分野
大規模社会システム → 故障を前提として機能を維持するシステム的な高信頼化が必要
- 新幹線 → 信頼性/安全性の両立 → 三重系多数決構成
- 1970年代: IEEEは、回路/システムレベルでの高信頼化の研究を活発化
→ Fault tolerant computing
- フォルトトレランスを売り物にした製品・商品の出現 → 航空, 宇宙産業, 金融
 - 手法 = 故障時を前提にしたシステムの対策、高信頼化の達成には有効

FTを支えるSelf Checking Circuit(SCC)技術とは

- 回路故障の影響



性質1: 符号語なら全て正しい(非符号語をとるまで) Fault secure

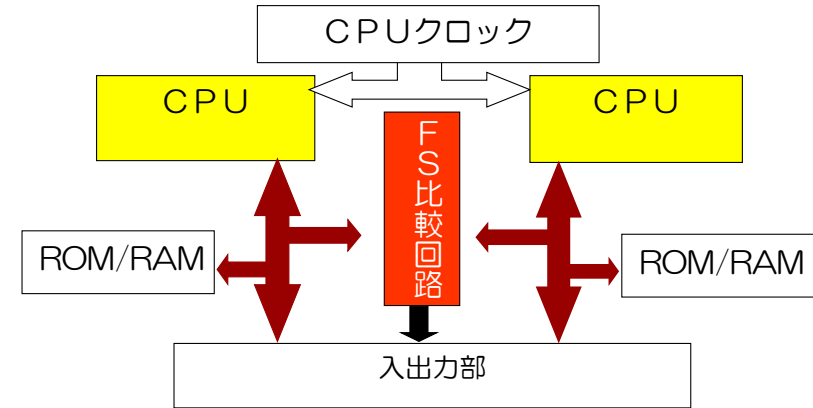
性質2: 故障すれば教えてくれる(非符号語をとる) Self testing

性質1と性質2を備えた回路 Totally self-checking

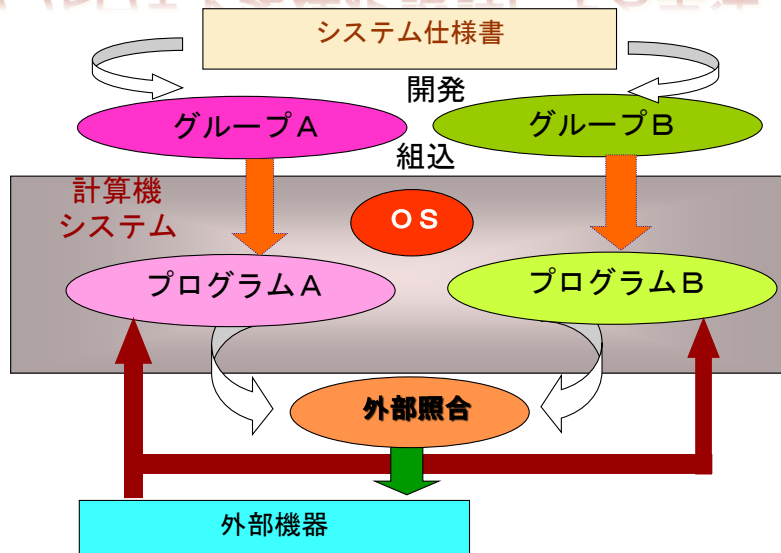
安全制御を目的にした様々な計算機

黎明期には相互に優劣が論じられたが、それぞれ安全性上は問題なく稼動

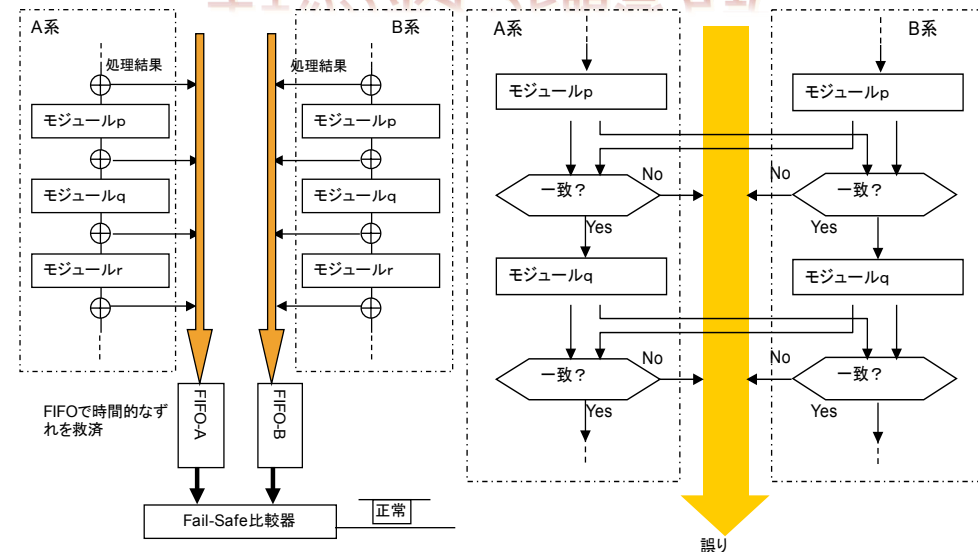
ハードウェアの密な同期照合方式



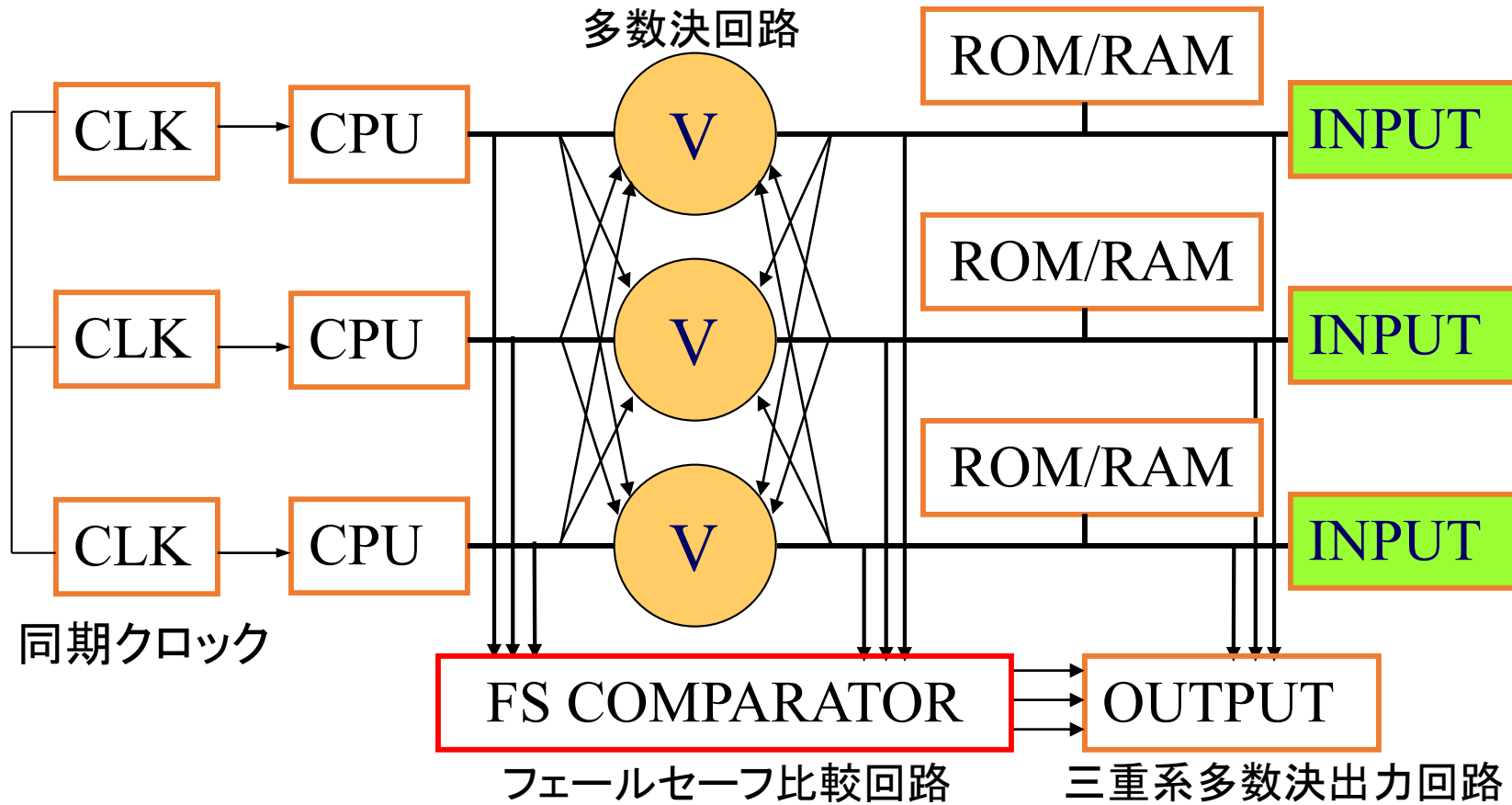
ソフトウェア多様化設計による手法



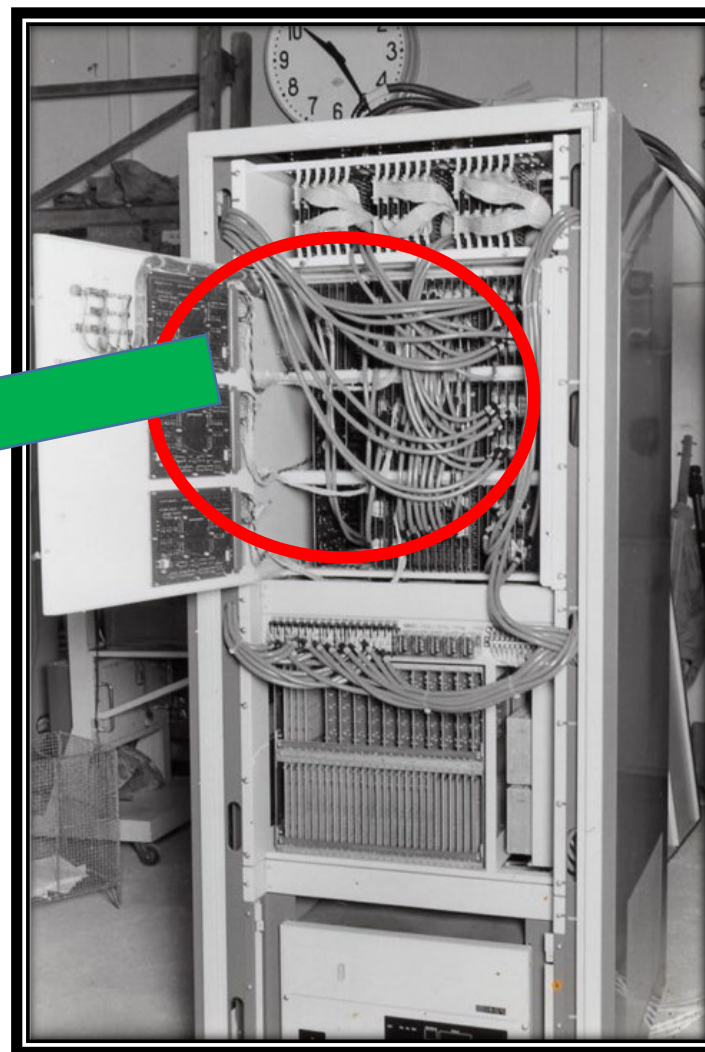
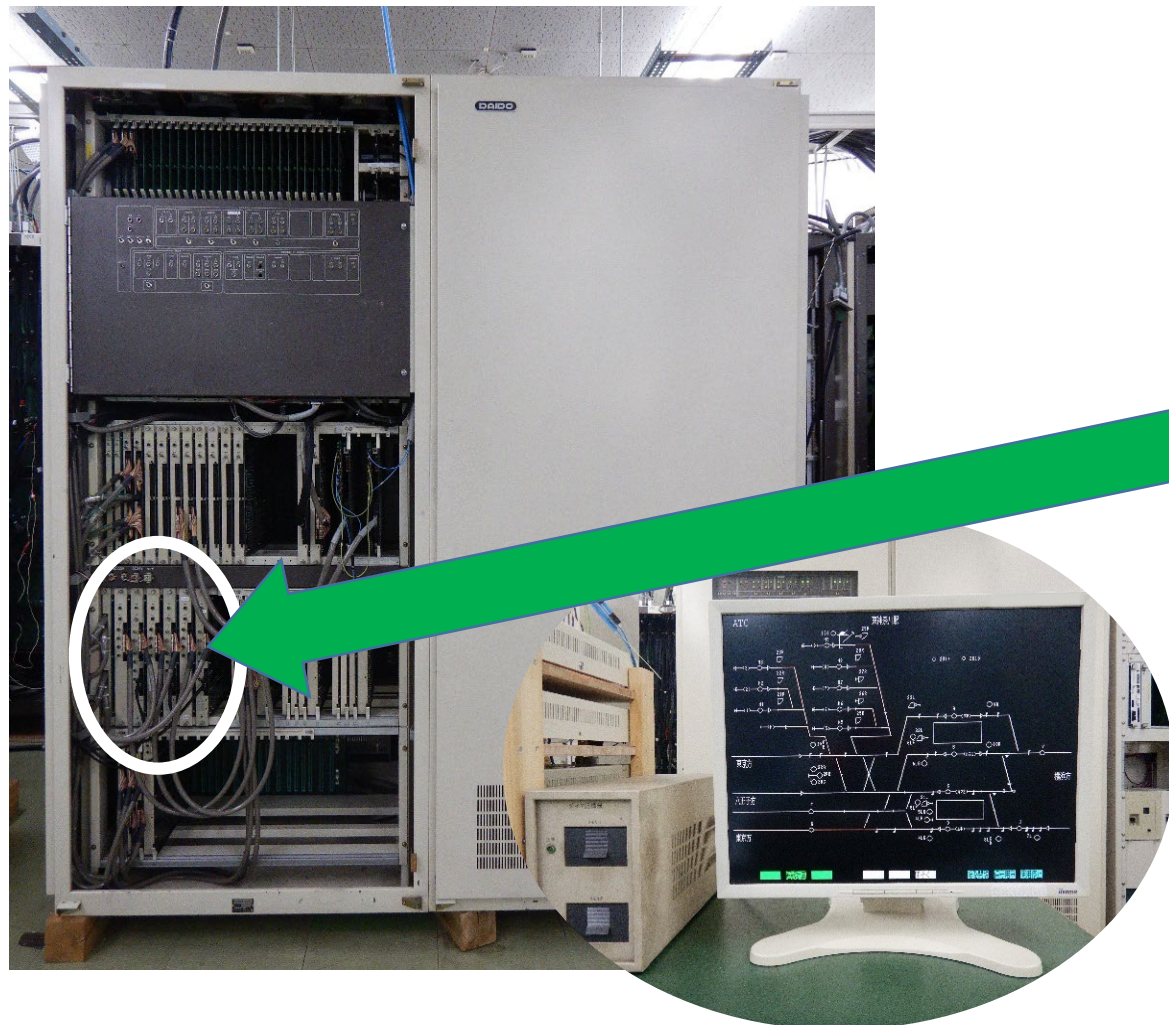
チェックポイント照合方式



開発したSMILE用計算機の構成



3重系多数決フェールセーフ計算機



研究開発から実用化へは大きな試練が待ち受けていた

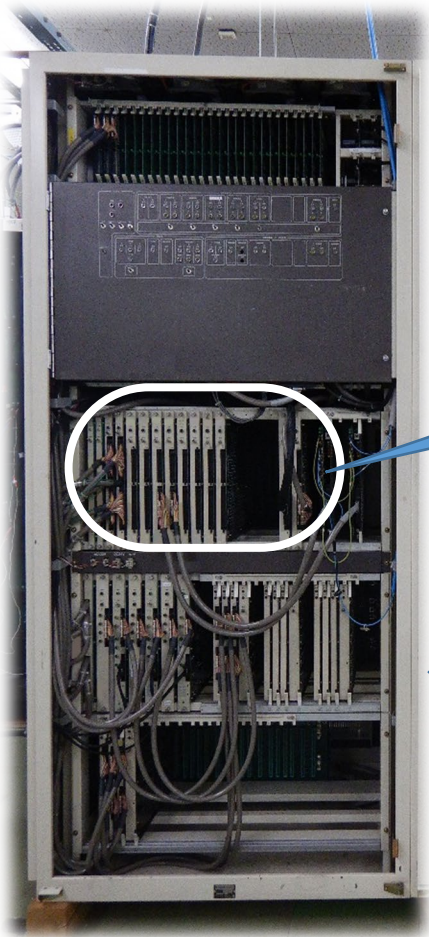
国鉄経営再建の大波が到来している時に なぜ「電子連動装置」
の導入か？

経営改善施策として提案！

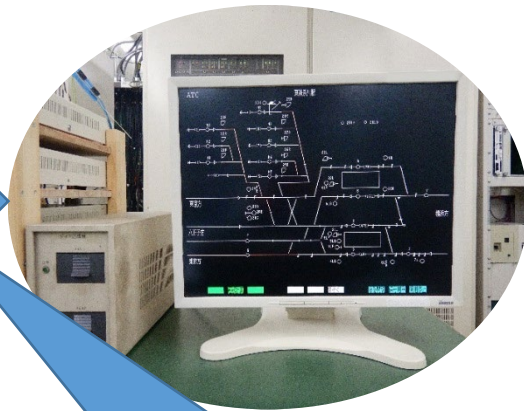


急遽、自動進路制御システムを組み込むことに

駅構内の自動制御機能を備えたSMILE実用機



SMILEバスシステム



SMILEバスネット

- 必要となる機能モジュールは、ボードコンピュータで実現
- 各系は2重系構成として高信頼化を図る
- 系間の情報交換は共有メモリ結合に
- 常時故障診断を実施し、故障系は自動的に主系/従系の切替を自動で

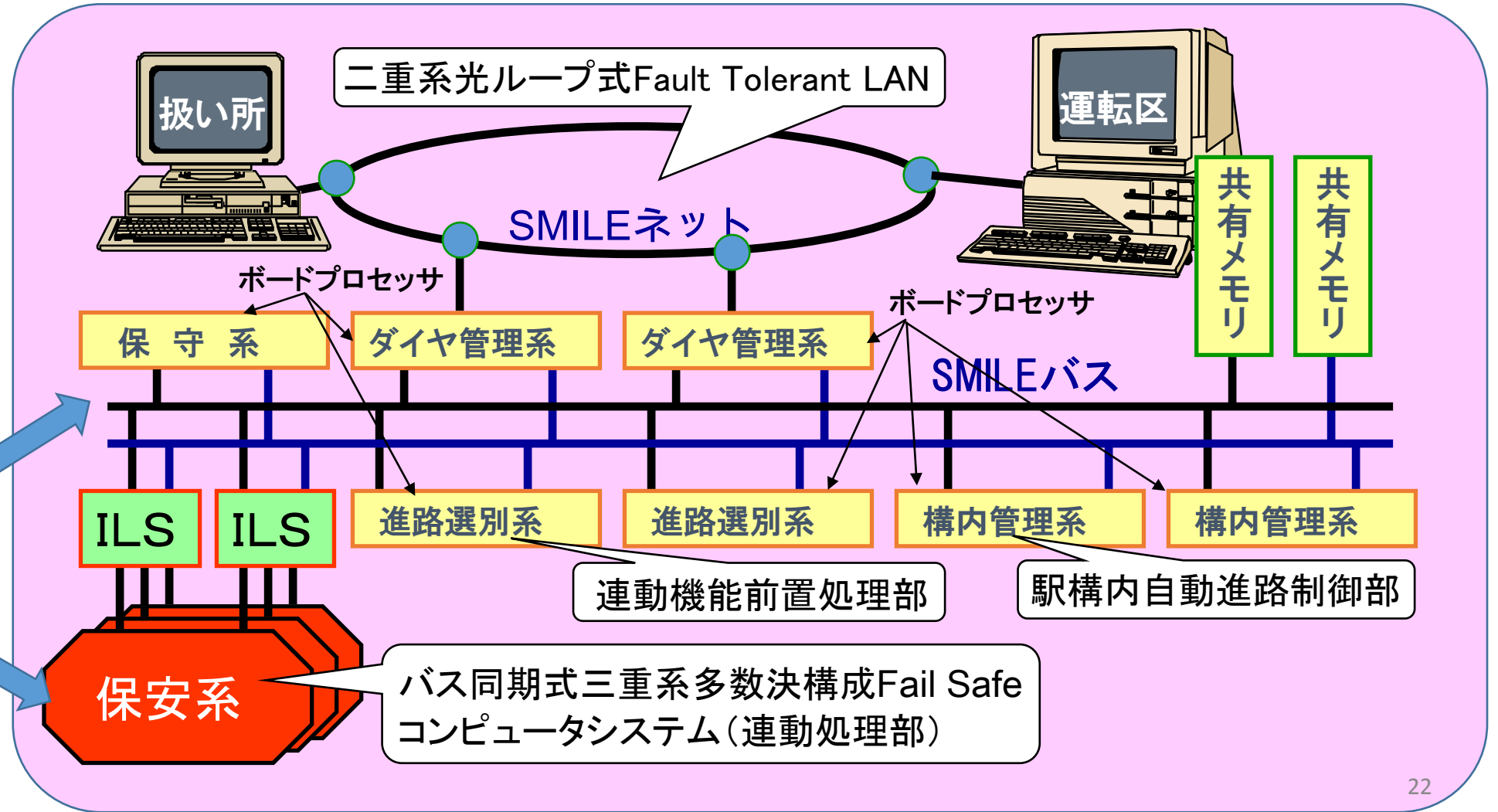
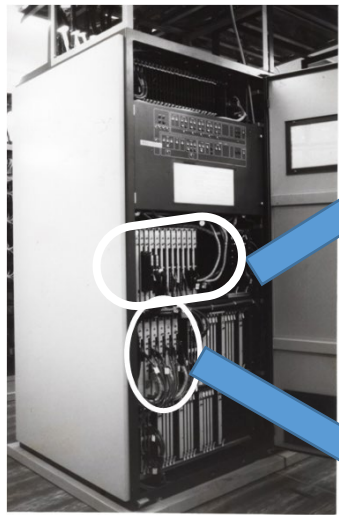
フォルトトレラントな
共有メモリ結合2重系システムバス
SMILEバスを開発

運転区・扱所との間は2重系光ループの
SMILEバスを開発して接続

日本と海外の電子連動装置の比較

分類	汎用ミニコン利用	マイクロプロセッサ利用（今日の主流）		
国（年月）	スウェーデン(1978)	日本(1985 /3)	イギリス(1985 /9)	ドイツ(1985 /12)
開発主体	スウェーデン国鉄 LMエリクソン	日本国鉄 大同・日信・京三	イギリス国鉄 WH/GEC	ドイツ国鉄ジーマス/SEL
基本構成	一重系＋予備	三重系多数決	三重系多数決	二重系(+予備)
安全性確保方式	ソフトウェアの多様性と外部フェールセーフ照合回路	バスレベルのデータ照合(バス同期式)	ソフトウェアのチェックポイント照合	バスレベルのデータ照合
特徴	線区単位の連動	駅分散PRCも実現	線区単位の連動	駅単位の連動
課題	ソフト負担/マイコン式への置換	小型化	ソフトに負担	稼働率

電子連動装置SMILEの構成



**電子連動装置SMILEの成功は多くの信号機器近代化の
魁となった**

(電子踏切・自動列車制御装置ATS、自動列車停止装置ATS)

**信号機器の計算機化からFS計算機を利用した新たなシ
ステム開発へのチャレンジが始まった**

(無線式列車制御システムCARAT・ATACS)

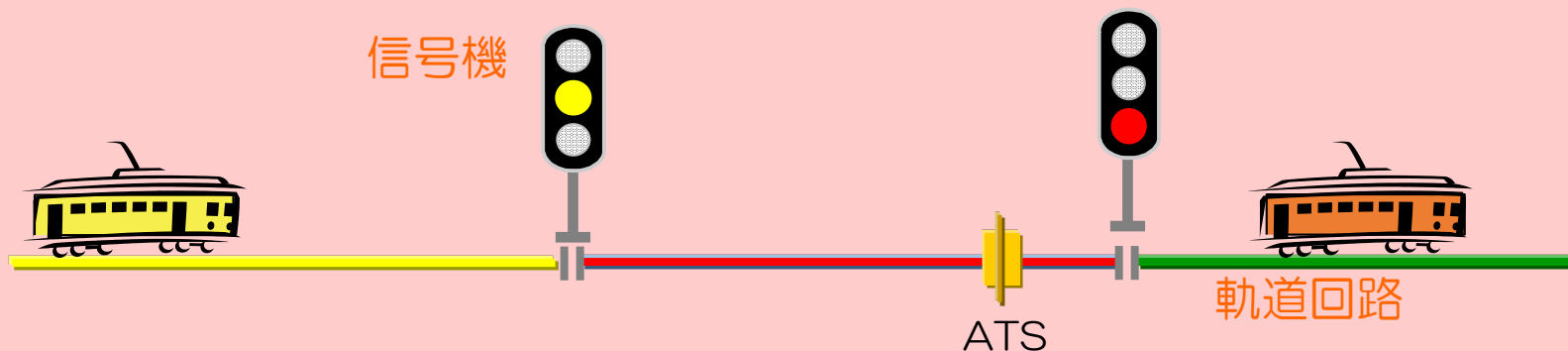
そしてIoT時代を迎えた今日

未来の列車制御システムを示唆する開発が

ATACSと従来の信号システム比較

在来信号式

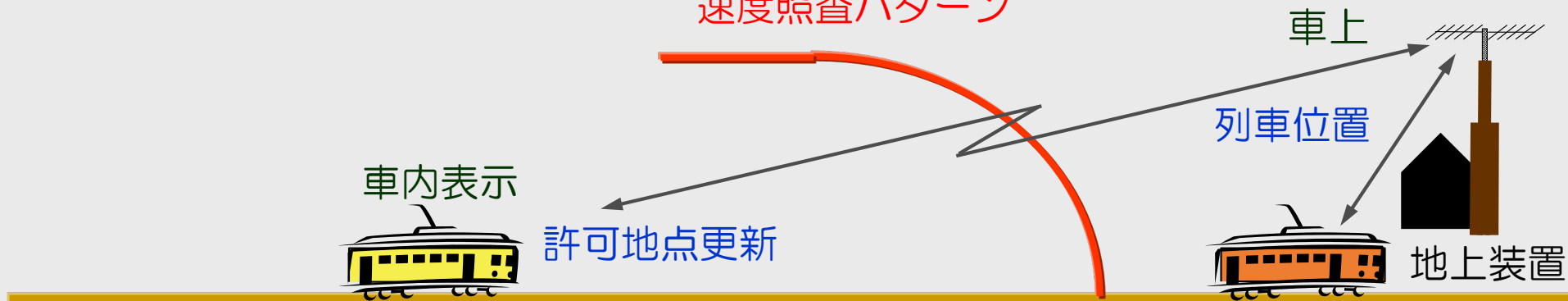
- 閉そく区間ごとに信号の現示に基づき列車の速度を制御



ATACS

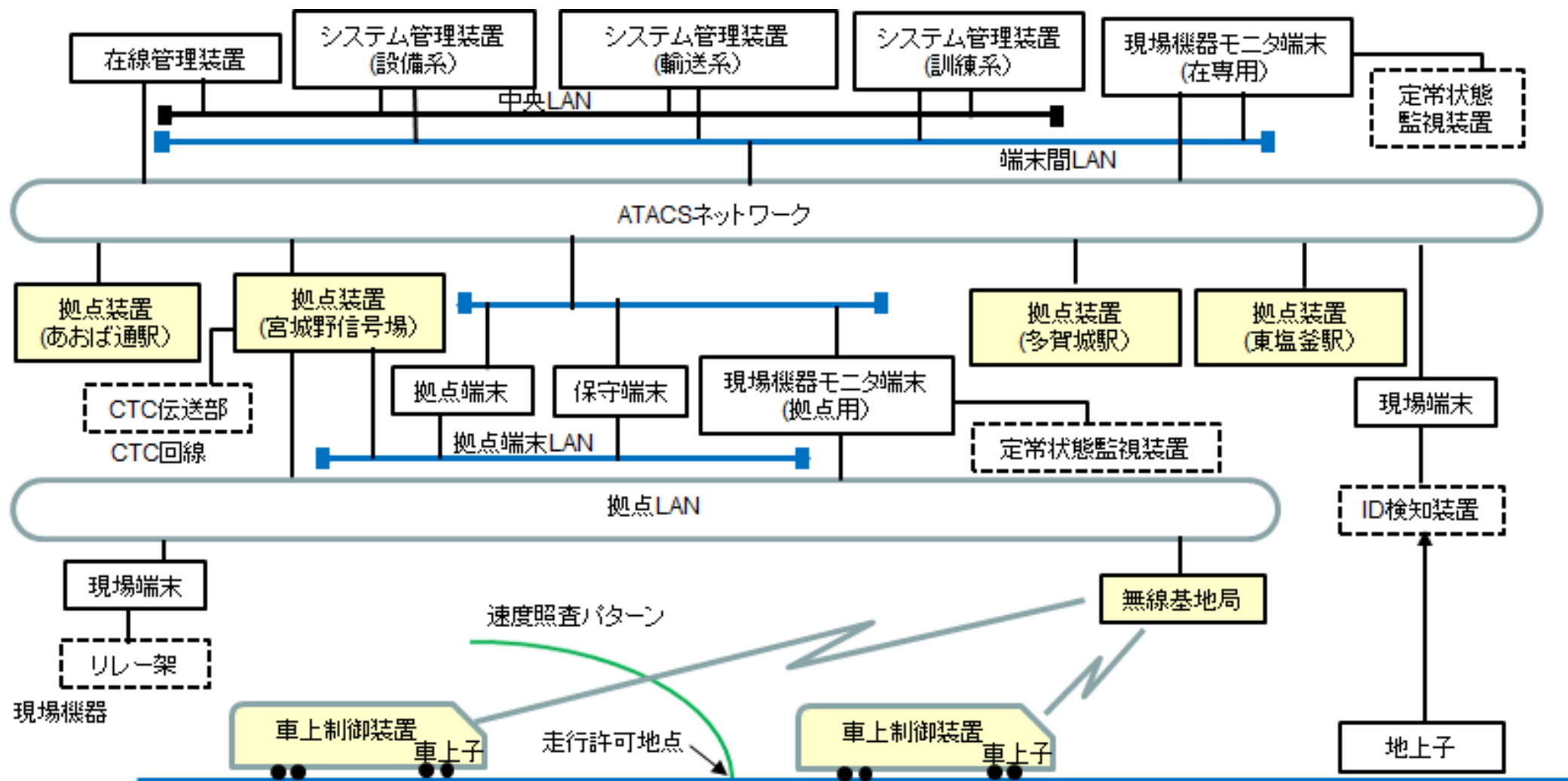
走行許可地点更新

速度照査パターン

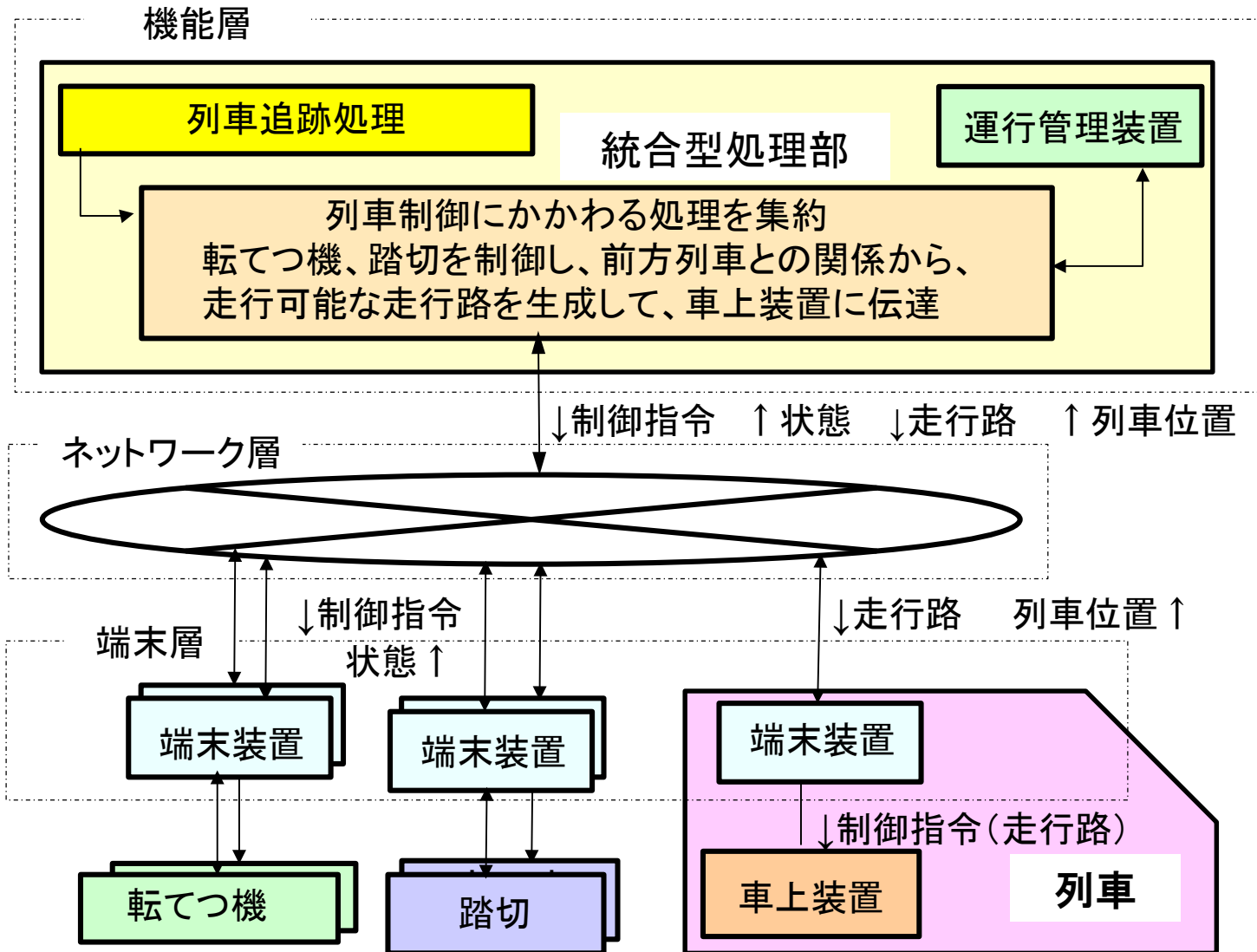


- 列車間隔に応じて限界速度が決まる

ATACSのシステム構成



世界に発信中の新列車制御システムUTCS

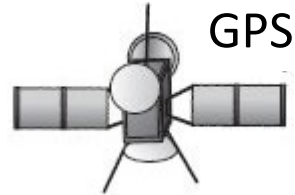


制御論理が「誤らない計算機」に一元化されるので、ヒューマンエラーを前提にした安全論理は不要に

現場には転てつ機と踏切、列車のみが残る。

連動装置、閉そく装置、ATC/ATSは不要となり姿を消す

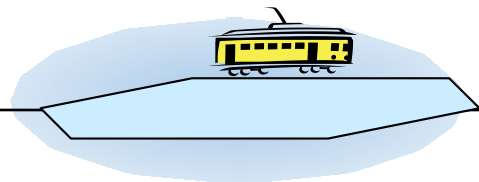
UTCS利用地方鉄道向け列車制御システム ATP閉そくシステム



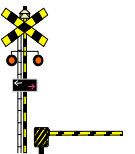
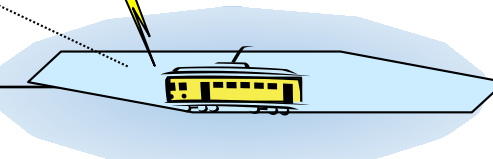
先行列車が仮想閉塞境界を脱出したことを検知して出発許可: 続行列車が走行可能



携帯電話でつながるシステム



仮想閉塞境界



次駅到着までに、さらにもう一つ先の駅までの走行許可を得ることで通過や、追越し運転を実現

駅停車パターン制御により、過走防護のための踏切鳴動時分増加もなし

電気学会 第80回電気技術史研究会

2019. 10. 4

電気学会顕彰「でんきの礎」および電気技術史一般

鉄道信号用海軍式装置SMLEの開発と
今日の列車無線

終い

日本大学 名誉教授 中村 英夫